

# matérias-primas para as tecnologias energéticas hipocarbónicas

As matérias-primas necessárias para produzir os materiais que são fatores-chave para as tecnologias de baixa emissão de carbono (LCE, da sigla em inglês) são o objetivo deste artigo.

Luís Gil

luis.gil@dlgeg.pt

Direção-Geral de Energia e Geologia, I.P.

## Resumo

A avaliação de problemas/riscos na cadeia de abastecimento destes materiais, incluindo a identificação de matérias-primas críticas (CRMs, da sigla em inglês), são descritas e discutidas juntamente com algumas iniciativas da União Europeia (UE) sobre matérias-primas. São também abordadas a substituição e a reciclagem de novos materiais de alto valor acrescentado como estratégias de mitigação à sua possível escassez.

## 1. Introdução

As matérias-primas como componentes de produtos são fundamentais para a economia e, por isso, essenciais para a qualidade de vida das pessoas. Como há um número crescente de materiais utilizados em produtos [1] as cadeias de abastecimento tornam-se cada vez mais complexas.

Paralelamente existem preocupações ambientais e de sustentabilidade que nos “empurram” para uma transição para um sistema de energia de baixo carbono (hipocarbónica). Para esta transição, devem ser realçados os objetivos da UE, ainda em negociação a nível nacional, em matéria de política energética [2] [3]:

- até 2020, uma redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa, uma quota de 20% de energia renovável e 20% de aumento da eficiência energética;
- até 2030, uma diminuição de 40% das emissões de gases com efeito de estufa, pelo menos 27% de energias renováveis e pelo menos um aumento de 27% da eficiência energética.

A crescente procura global de certos minerais e metais, adicionada à volatilidade dos seus preços e até mesmo às distorções do mercado, tem levantado preocupações relativamente à segurança do mercado e ao abastecimento económico das matérias-primas [4].

A União Europeia (UE) está, conseqüentemente, a tomar medidas para garantir o acesso às matérias-primas necessárias, nomeadamente a nível energético. Ao criar um quadro político (ou seja, a Parceria Europeia de Inovação sobre Matérias-Primas, os programas-quadro de investigação, como o 7º PQ e Horizonte 2020, entre outros), a Comissão Europeia (CE) está a promover soluções inovadoras e a acelerar a retoma do mercado no campo das matérias-primas [4]. Esta ação começou em 2008, quando a CE adotou a “Iniciativa sobre matérias-primas” (RMI, da sigla em inglês), que criou um plano integrado a nível europeu destinado a responder a diferentes problemas para obter algumas matérias-primas [4]. Como resultado, a primeira análise crítica das matérias-primas foi publicada em 2010 por um Grupo de Trabalho Ad-Hoc onde foram identificadas 14 matérias-primas críticas com base numa lista inicial de 41 materiais [1]. A estratégia da RMI entrou em fase de implementação em 2013 através da “Parceria Europeia de Inovação (EIP, da sigla em inglês) sobre matérias-primas” [4].

O Instituto de Energia e Transportes do Joint Research Centre (JRC) publicou um estudo em 2011, focando, nomeadamente, tecnologias energéticas estratégicas e materiais críticos relacionados para avaliar a potencial escassez de certos metais para seis tecnologias LCE: energia eólica, energia solar fotovoltaica, bioenergia, cisão

nuclear, captura/armazenamento de carbono e rede elétrica inteligente [5].

Relacionado com estes aspetos, é de referir também uma das parcerias europeias “Comunidades de Conhecimento e Inovação” (KIC, da sigla em inglês) que se concentra na exploração, extração, processamento, substituição e reciclagem sustentável de matérias-primas [4]. Outra iniciativa da CE, a pedido do Parlamento Europeu, foi a Rede Europeia de Competências em Terras Raras (ERECON, da sigla em inglês) [4]. De referir ainda o projeto “Em Direção a um Fórum Mundial sobre Matérias-Primas” (FORAM, da sigla em inglês). Este projeto está a desenvolver e estabelecer uma plataforma de partes interessadas e especialistas internacionais para a cooperação internacional assim como uma abordagem mais coerente e unida em relação aos investimentos e políticas relativos a matérias-primas.

De salientar ainda que a UE foi a primeira entidade no mundo a adotar leis específicas para resíduos de painéis solares. A Diretiva Europeia 2012/19/EU inclui metas específicas para a recolha e reciclagem de painéis solares em fim de vida exigindo que os produtores de painéis que fornecem painéis fotovoltaicos para o mercado europeu paguem os custos de recolha e reciclagem desses painéis [6] [7].

## 2. Abastecimento de matérias-primas

A fim de planear a evolução futura do mercado no abastecimento de materiais, antes de mais, algumas perspetivas devem ser consideradas, tal como listado em [8] (conforme se pode ver na Tabela 1).

Objeto da previsão	Crescimento (%)	Tempo
Aplicações de VAMs (setor da energia)	19	Desde 2016
Pilhas de combustível estacionárias	55	2017
Supercondensadores (energia)	49	2015
Equipamento de instalação de biogás	30	2010-2014
Nanomateriais (catalíticos, estruturais)	29	Desde 2016
Aplicações de VAMs (setor dos transportes)	15	Desde 2016
Supercondensadores (transportes)	35	2015
Aplicações de VAMs (veículos elétricos)	20	Desde 2016
Tecnologias de captura de carbono	63	Desde 2016
VAM – Material de Valor Acrescentado (VAM, da sigla em inglês)		

**Tabela 1** Evolução do mercado para os materiais (com base em [8]).

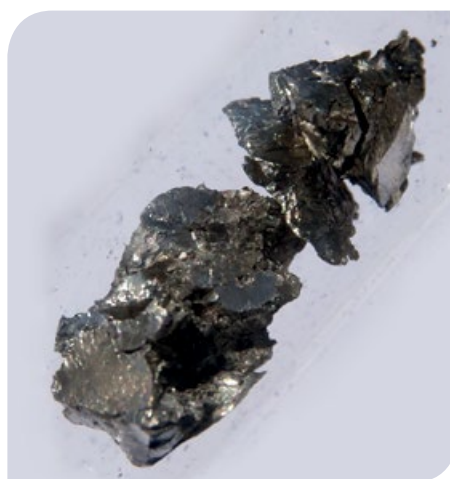
Será também importante que alguns indicadores venham a ser desenvolvidos, refletindo diferentes aspetos da oferta como a disponibilidade dos recursos minerais, fornecedores atuais e potenciais de mineração/refinação, dependência de importações, fatores macroeconómicos, ambientais e geopolíticos e também reciclagem e substituição. A procura atual e futura de materiais para essas tecnologias deve ser estimada para avaliar a adequação da oferta [9].

De forma exemplificativa, refira-se que um estudo recente (2016) do JRC, sobre os setores eólico, PV e transportes [9], mostra que, a nível da UE, houve problemas de resiliência a potenciais estrangulamentos no abastecimento de alguns materiais (por exemplo):

- Baixa resiliência no caso das terras raras – neodímio (Nd), praseodímio (Pr) e disprósio (Dy) – usado em tecnologias eólicas e de veículos elétricos, bem como para grafite (C) (baterias recarregáveis em veículos elétricos);
- Problemas moderados de oferta para índio (In), prata (Ag) e silício (Si) na tecnologia fotovoltaica, bem como cobalto (Co) e lítio (Li) em veículos elétricos.

Assim, o JRC realizou uma análise baseada numa abordagem ascendente em três passos, em relação às barreiras da cadeia de abastecimento de várias tecnologias LCE na Europa [4] [9] [10]. Pretendeu-se assim obter uma listagem das matérias-primas críticas (CRMs, da sigla em inglês).

Na etapa 1 foram identificados 60 materiais (todos os metais, exceto Fe, Al e elementos radioativos). Na etapa 2, foi feito um rastreio significativo, reduzindo a primeira lista para 32 materiais usados em quantidades significativas nas tecnologias LCE. Esta lista refere-se a Ag, Au, Cd, Cr, Cu, Hf, Li, Mo, Ni, Pb, Re, Se, Sn, Ta, Ti, V e também materiais da lista anterior de CRMs da UE de 2014 [11] que incluía Ce, Co, Dy, Eu, Ga, Gd, Ge, grafite, In, La, Nb,



**Figura 1** Praseodímio [By Juri (http://images-of-elements.com/praseodymium.php) CC BY 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0), via Wikimedia Commons].

Nd-Pr, Pt, Sm, Tb e Y. Na etapa 3 foi feito um rastreio crítico, com base em fatores de mercado e geopolíticos e oito materiais com estrangulamentos sérios da cadeia de abastecimento foram identificados (os primeiros sete já existiam na lista de CRMs da UE de 2014) como altamente críticos: Dy, Eu, Ga, Nd, Pr, Tb, Te e Y.

Refira-se que, por definição, as CRMs são aquelas que apresentam um risco particularmente elevado de escassez de suprimentos no futuro próximo e que são notavelmente importantes para a cadeia de valor considerada [12]. As listas de CRMs podem ter implicações políticas, por exemplo, ajudando a implementar políticas industriais e comerciais e mesmo de investigação e de inovação [13]. Estas listas de CRMs devem ser atualizadas pelo menos a cada três anos de forma a serem melhoradas e atualizadas devido a desenvolvimentos tecnológicos e de mercado ou, por exemplo, a novas informações sobre o impacto ambiental dos materiais [12].

Dimensões	Indicadores
Montante	Procura do material Potencial de investimento Estabilidade do abastecimento Esgotamento das reservas Confiança na importação Adequação do abastecimento Reciclagem Substituição
Jusante	Dependência da cadeia de abastecimento Potencial de aquisição Impacto do custo do material

**Tabela 2** Dimensões e indicadores para a avaliação da resiliência dos materiais (com base em [9]).

Os indicadores para a avaliação da resiliência podem ser agregados em duas dimensões (a montante e a jusante) relacionadas com a cadeia de abastecimento de materiais a jusante [9] conforme listado na **Tabela 2**.

Verifica-se que a adequação do abastecimento significa que a capacidade de fornecimento pode crescer de forma a lidar de maneira oportuna com a procura. Por exemplo, de acordo com o cenário da Associação Europeia de Energia Eólica, estimou-se que as instalações de energia eólica poderiam aumentar quase 200% até 2030 em relação à capacidade de 2014 [3].

Deve também ter-se em mente que metais como, por exemplo, alumínio, são negociados em bolsas de valores. No entanto, muitas das matérias-primas críticas para a UE, como o cobalto, o gálio, o índio e as terras raras – comercializadas em quantidades muito pequenas em comparação com outros materiais – não são negociadas do mesmo modo conduzindo a um mercado menos transparente [12]. Para se ter uma ideia da incerteza da cadeia de abastecimento neste campo, é de recordar, por exemplo, como os preços dos minérios de terras raras subiram fortemente em 2011, atingindo cerca de 100 vezes o preço que tinham em 2002-3. Estes preços caíram depois rapidamente, mas estabilizaram em cerca de 2-3 vezes o seu custo pré-crise [5].

É ainda de salientar que, geralmente, as influências sobre a criticidade neste domínio podem ser divididas em: uso da terra, governança de mineração, tipos de minério, concentração de negócios, produção de metal e refinação, oscilação da produção, legislação ambiental e alterações nos preços [1].

De acordo com [4], os principais fornecedores (países que fornecem mais de 50% do consumo mundial) para várias CRMs são mostrados na **Tabela 3**.

Desta tabela pode ver-se que a China é o principal produtor e refinador de CRMs. Por exemplo, sabe-se que este país controla uma grande

País	Material	%
China	Antimónio	87
	Coque	51
	Espatoflúor	56
	Gálio	69
	Germânio	59
	Índio	58
	Magnesite	69
	Magnésio	86
	Grafite natural	69
	Terras raras pesadas	99
	Terras raras leves	87
República Democrática do Congo	Silício metálico	56
	Tungsténio	85
África do Sul	Cobalto	56
Brasil	Metais do grupo da platina	61
Estados Unidos da América	Nióbio	92
	Berílio	90

Tabela 3 Principais fornecedores de várias CRMs (com base em [4]).

parte das reservas das terras raras e introduziu mesmo restrições à exportação de algumas matérias-primas [5].

Também de acordo com [4], a estimativa da procura anual global e da variação percentual média para CRMs em aplicações de iluminação e ecrãs entre 2014 e 2020 mostra uma redução de 66% em térbio e 40% em európio e um aumento de 244% em gálio e de 38% em índio. O mesmo relatório faz uma estimativa da procura anual global e da variação percentual média de algumas terras raras em turbinas eólicas entre 2015 e 2020, mostrando o cenário mais extremo (considerando a substituição), com queda de neodímio de 55%, redução de 55% no praseodímio, e uma diminuição do disprósio de 87%.

Outra estimativa indica que se todos os 550 000 veículos elétricos (a bateria ou híbridos *plug-in*) vendidos em todo o mundo em 2015 tivessem sido produzidos com magnetos de NdFeB, cerca de 825 toneladas de NdFeB (representando 1% da produção global de NdFeB em 2015) teriam sido necessárias [3]. Isso corresponde a cerca de 200 toneladas de neodímio, 60 toneladas de disprósio e 50 toneladas de praseodímio necessárias para satisfazer o mercado dos veículos elétricos somente em 2015 [4]. Para se atingir o objetivo de implantação global de 7,2 milhões de vendas deste tipo de veículos em 2020 (previsto pela Agência Internacional de Energia), a procura anual de magnetos de NdFeB neste setor terá que aumentar em até 14 vezes de 2015 a 2020 [4].

Outra fonte [14] estima que, em 2050, a procura de lítio para as baterias dos veículos

elétricos poderia chegar a quase um milhão de toneladas/ano com base num uso de lítio de até 380 gramas de lítio/kWh. A procura por neodímio no mesmo ano foi estimada em mais de 100 mil toneladas/ano, com base num peso do magneto das viaturas de até 3,6 kg por veículo.

Deve ter-se em atenção que o neodímio é obtido em mistura com outros metais, como muitos outros metais críticos, tornando a economia da sua extração dependente desses outros metais [5]. A UKERC (Centro de Investigação em Energia do Reino Unido) [14] estimou que cerca de 20 mil toneladas de óxido de neodímio, correspondendo a cerca de 17 mil toneladas de neodímio, foram produzidas em 2010.

No mercado de baterias de lítio, o Relatório Global do Mercado de Baterias de Lítio de Látex, publicado pela Variant Market Research em 2017, prevê que este mercado global deverá crescer de US \$25 mil milhões em 2016 para US \$56 mil milhões até 2024. A produção global de lítio no ano de 2011 atingiu 34 mil toneladas, tendo sido referenciadas reservas de 13 milhões de toneladas [14].

Em 2015, as vendas de veículos elétricos na China foram 50% maiores do que na UE e a China planeia um aumento de 10 vezes até 2020 com um forte envolvimento da cadeia de valor das baterias [15]. A Agência Internacional de Energia estimou em 2010 que, até 2050, as vendas anuais de veículos elétricos a bateria atingirão cerca de 50 milhões de veículos/ano [5].

Saliente-se ainda que os diferentes modelos de veículos podem ter diferentes requisitos. Por exemplo, os veículos elétricos a bateria podem precisar de mais lítio (baterias maiores), enquanto os veículos com células de combustível podem exigir menos lítio (baterias menores), mas este último tipo de veículos também requer, por exemplo, platina. Por isso, deve ter-se em consideração se a mudança representa apenas substituir um metal crítico por outro [5] e que tipo de mobilidade se vai ter no futuro.

Quanto à indústria eólica global um estudo do JRC [4] considera que está bem preparada para possíveis distúrbios no abastecimento de terras raras, devido à disponibilidade de substituições de componentes e melhorias na eficiência de materiais. A procura de neodímio para turbinas eólicas poderá estar na faixa de 600-6000 toneladas/ano até 2050 [14].

3. Reciclagem, substituição e poupança

Várias medidas podem ser consideradas para reduzir a dependência da oferta, como melhorar as condições de oferta doméstica, substituir os recursos por outros necessários, diversificar o abastecimento e melhorar a eficiência dos recursos, incluindo a reciclagem. Assim, três das abordagens para lidar com potenciais restrições

de oferta são a substituição, a reciclagem e a poupança.

A nível da UE, parece que a substituição é a medida mais eficaz para melhorar a resiliência ao abastecimento de estrangulamentos, seguida da reciclagem e aumento da produção de matérias-primas [9].

A reciclagem é uma forma de reduzir a procura de matérias-primas primárias gerando fluxos de materiais secundários. Taxas de reciclagem mais elevadas contribuem para reduzir a pressão sobre a procura de matérias-primas, ajudando a reutilizar materiais valiosos – desperdiçados – contribuindo também para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa devido à extração e ao processamento [12]. As taxas de reciclagem para alguns materiais são muito baixas, mas espera-se um aumento significativo nos fluxos secundários. Novas tecnologias de reciclagem são necessárias, além de melhorar as taxas de recolha de produtos em fim de vida. No entanto, as baixas concentrações de metal nos fluxos de resíduos tornam difícil a recuperação pós-consumo de metais críticos, porque os metais críticos são geralmente um componente menor num sistema complexo de materiais [5]. Além disso, se o preço do material reciclado for muito superior ao preço do mesmo material recém-extraído, não há incentivo para investir em capacidades de reciclagem e para desenvolver ou melhorar as tecnologias de reciclagem [9].

Vejam agora o exemplo do ciclo de vida dos painéis solares que é estimado em cerca de 30 anos. A capacidade instalada global para a energia fotovoltaica atingiu 222 GW até ao final de 2015 e deverá aumentar para 4500 GW até o final de 2050. Essa excecional capacidade de crescimento aumentará os resíduos associados. No final da próxima década, espera-se que a reciclagem ou reutilização de painéis solares fotovoltaicos em fim de vida comece a aumentar e que possa “redescobrir” matérias-primas e outros componentes valiosos com um valor de mercado de €13 mil milhões ou US \$15 mil milhões até 2050 [6] [7]. De acordo com [6] até 2050, haverá um acumulado de 78 milhões de toneladas de painéis solares obsoletos em todo o mundo. Isto representa matéria-prima recuperada bastante para produzir dois mil milhões de painéis novos (equivalente a 630 GW). O enorme fluxo de materiais que estarão disponíveis pode ser usado para aumentar o stock para futuros painéis solares ou ser vendido para outros mercados e produtos que dependem deles. A indústria de reciclagem fotovoltaica permite tipicamente a recuperação de materiais de vidro, alumínio e cobre (painéis c-Si) que podem ser recuperados em mais de 85% da massa total do painel [6].

A substituição pode ser uma estratégia sustentável para moderar a procura de alguns materiais críticos e assim reduzir a pressão sobre o

seu abastecimento, o que pode ser também uma maneira inovadora para criar diversificação e contribuir para a resiliência [9]. A substituição tem sido reconhecida como um elemento essencial da estratégia para garantir o abastecimento de matérias-primas [4]. Refira-se que um exemplo de tecnologias verdes selecionadas, seus elementos críticos associados e potenciais de substituição podem ser vistos na página 23 de [5].

A nível de substituição pode ainda referir-se, por exemplo, o novo método de armazenamento de energia solar térmica molecular (MOST, da sigla em inglês) que pode ser combinado com painéis solares térmicos tradicionais. Neste sistema, uma determinada molécula, após exposição à luz solar é convertida num isómero de alta energia. Este isómero pode ser armazenado e libertado quando necessário com regeneração da molécula original. Não são utilizados metais preciosos, uma vez que o ruténio – que anteriormente desempenhava um papel importante – é agora substituído por elementos à base de carbono (sistema norbornadieno-quadríciano) [16].

Os nanotubos de carbono (CNT, da sigla em inglês) também podem ajudar a viabilidade das

células solares de perovskite, aumentando sua estabilidade. O ouro usado para o contacto traseiro e o material orgânico no condutor pode ser substituído por filmes de CNT de rede aleatória. Os constituintes dos CNTs são abundantes e baratos. Além disso, a produção de células solares de perovskite precisa de menos de um décimo de tempo de operação para reembolsar a energia utilizada na produção em comparação com células de silício [16].

Verifica-se que muitos anos de pesquisa ainda não permitiram a substituição direta e completa (comercialmente disponível) dos CRMs em fluorescência, LEDs e ímãs permanentes por outros materiais mais facilmente disponíveis e menos críticos [4]. Novos desafios se levantam a nível da investigação, como sejam encontrar substitutos para o gálio e o índio que ainda são elementos-chave nas aplicações de LED e ecrãs atuais [4].

No que diz respeito à substituição no setor de iluminação, a transição da iluminação fluorescente para o LED e a substituição bem sucedida de germânio em LEDs devem conter a procura de vários materiais (por exemplo, térbio, európio, ítrio, germânio) nos próximos anos, mas com a

procura de gálio e índio provavelmente aumentada [4]. Porém, com a próxima geração da tecnologia de iluminação – o diodo orgânico emissor de luz (OLED) – não são necessários CRMs (material de substituição: compostos metálicos-orgânicos), com exceção do índio [4] [5].

No campo da energia eólica, estão disponíveis modelos alternativos de turbinas sem terras raras (por exemplo, turbinas tradicionais com engrenagens baseadas em geradores de indução, com cobre como material substituto) e, portanto, sua adoção poderia reduzir a procura futura de CRMs e a longo prazo turbinas eólicas com semicondutores de alta temperatura devem ser desenvolvidas [4]. O gerador síncrono de ímã permanente de direcionamento direto (DD-PMSG), sem terras raras críticas, deverá penetrar significativamente no mercado de grandes turbinas (mais de 5 MW) [4], o que as torna disponíveis e prontas para serem adotadas se os preços das terras raras aumentarem [4].

Tecnologias alternativas (sem terras raras) também já existem para veículos elétricos a bateria (BEV, da sigla em inglês), mas não para os híbridos que ainda dominam o setor dos veículos elétricos, onde o futuro poderia ser o uso

## REPOSITÓRIO TÉCNICO todos conteúdos das nossas revistas

em: [www.cie-comunicacao.pt](http://www.cie-comunicacao.pt)



**CIE** comunicação e imprensa especializada, lda.  
GRUPO PUBLINDÚSTRIA



**elevare**

**Manutenção**



**robótica**

**o electricista**



**renovaveis magazine**

**jornadas tecnológicas**

CIE Comunicação e Imprensa Especializada, Lda. – GRUPO PUBLINDÚSTRIA – Praça da Corujeira, 38 – 4300-144 Porto Telefone: +351 225 899 626/8 | Fax: +351 225 899 629 | email: [geral@cie-comunicacao.pt](mailto:geral@cie-comunicacao.pt)



de motores de relutância alternada [4]. Além disso, a substituição total de terras raras em ímãs NdFeB com elementos não críticos que fornecem uma potência similar ainda não é possível [4]. No entanto, a contribuição da reciclagem dos veículos elétricos levará algum tempo, pois os materiais podem ser “retidos” em veículos elétricos por vários anos [5].

Outra forma de proceder a nível da eficiência dos recursos é a poupança. Por exemplo, o uso de menos material no painel PV [6] pode ser considerado, através de:

- novas camadas de óxido condutor que integra compostos mais abundantes e mais baratos (por exemplo, óxido de estanho dopado com flúor) podem substituir o óxido de estanho-índio (elétrodos);
- células mais finas para reduzir a quantidade de silício usado em células c-Si (uso de silício reduzido a metade);
- as células solares c-Si são agora geralmente produzidas com contactos de prata impressos por tela (6% -8% da área da célula); o progresso nas tecnologias de jato de tinta e impressão de tela (permitindo o uso de outros metais) pode conduzir a uma redução significativa da prata nas células.

Além da reciclagem e da substituição, outras tecnologias também podem contribuir para reduzir o consumo de CRMs. A título de exemplo, cite-se a indicada numa publicação na *Advanced Science News* em 9 de novembro de 2016, em que duas empresas japonesas conseguiram a aplicação de um ímã de neodímio deformado a quente sem terras raras pesadas, mas com alta resistência ao calor e alto desempenho magnético adequados ao motor de veículos híbridos. O método de deformação a quente permite alinhar os grãos de cristal nanométricos para obter uma estrutura de grãos de cristais finos muito menor do que a de um ímã sinterizado e com maiores propriedades de resistência ao calor.

#### 4. Conclusões

Verifica-se que para haver estabilidade no abastecimento de materiais, são necessários desenvolvimentos no domínio da reciclagem, abordagens de substituição e avanços nas produções mineiras. Materiais específicos devem ter diferentes métodos de mitigação, mas parece indicar que a substituição é a medida mais eficaz para aumentar a resiliência. Também devem ser envidados esforços no campo da cooperação, tendo em mente, por exemplo, o diálogo trilateral de 2011 entre a UE, o Japão e os EUA para promover a cooperação no campo dos materiais críticos ou o *workshop* de especialistas UE-EUA sobre fluxos de matérias-primas minerais e dados [5].

Deve salientar-se que as listas de CRMs podem ter implicações políticas e podem estar

relacionadas com aspetos de mitigação e oportunidades de inovação. Essa lista deve ajudar a implementar políticas industriais, fortalecer a competitividade industrial, estimular a produção de CRMs (por exemplo, novas atividades de mineração), priorizar ações, implementar acordos comerciais e promover a I&D [13].

É de considerar também que diferentes países ou regiões do mundo devem considerar diferentes abordagens. Atualmente, por exemplo, a Austrália está focada na mineração sustentável e o Canadá na exploração mineira, a China está-se a concentrar no processamento e na metalurgia, o Japão na substituição e na Coreia do Sul na reciclagem [5]. Consequentemente, cada país/zona deve ter uma política adequada à sua situação.

Além disso estão a surgir novas oportunidades de negócio como, por exemplo, para “fechar o ciclo” dos painéis solares fotovoltaicos no final de sua vida. Para aproveitar essas oportunidades, no entanto, os preparativos para o aumento da existência de material de fim de vida devem começar agora. Para lidar com isso, é necessária a adoção de uma regulamentação efetiva de resíduos específicos, a expansão da infraestrutura existente para gestão dos resíduos e a inovação na gestão desses mesmos resíduos [7].

Verifica-se também que o aumento da reciclagem de matérias-primas é de maior importância para reduzir a procura do mercado. Assim, para responder ao desafio das matérias-primas, é necessária mais pesquisa, principalmente no campo da reciclagem e da melhoria da recolha dos novos produtos técnicos.

Algumas destas conclusões poderão ser úteis na definição de políticas relacionadas quer a nível institucional e/ou empresarial quer a nível local/nacional ou mesmo mais abrangentes.

#### 5. Referências bibliográficas

- [1] Oakdene Hollins and Fraunhofer ISI, 2013. *Study on Critical Raw Materials at EU Level – Final Report. A report for DG Enterprise and Industry.*
- [2] <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy> accessed on 20rd December 2017.
- [3] Blagoeva D., Alves-Dias P., Marmier A., Pavel C. 2017. *EU resilience to potential supply bottlenecks along the rare earths value chain for the future deployment of wind power. EMR 2017 – The III Energy&Materials Research Conference, 5th-7th April 2017, Lisbon.*
- [4] Pavel C.C., Marmier A., Alves-Dias P., Blagoeva D., Tzimas E. (Joint Research Center). *Substitution of critical raw materials in low-carbon technologies : lighting, wind turbines and electric vehicles. EUR 28152. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi:10.2790/793319.*
- [5] Materials for energy. SETIS Magazine, No. 8.

- [6] IRENA & IEA-PVPS 2016. Weekend S., Wade A., Heath G. *End-of-life management: Solar Photovoltaic panels.*
- [7] IRENA 2016a. *Solar PV Recycling Offers Significant Untapped Business Opportunity, New Report Shows – Technical potential of materials recovered from end-of-life solar PV panels could exceed \$15 billion by 2050, Munich, 20 de junho de 2016.*
- [8] ORAS 2014. *Technology and market perspective for future Value Added Materials- Final Report. Oxford Research AS, DG R&I Industrial Technologies, Brussels.* Disponível em: [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/technology-market-perspective\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/technology-market-perspective_en.pdf) accessed on 6th June 2017.
- [9] Blagoeva D.T., Alves Dias P., Marmier A., Pavel C.C. (Joint Research Center). *Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU (Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030). EUR 28192. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi: 10.2790/08169*
- [10] JRC, 2013. Moss, R.L, Tzimas, E, Willis, P, Arendorf, J, Tercero Espinosa, L, et. all. *Critical metals in*
- [11] European Commission. *Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, 2014.* Disponível em: <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> acessado a 6 de junho de 2017.
- [12] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025> acedido em 23 de maio de 2017.
- [13] [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en) acessado em 10 de maio de 2017.
- [14] UKERC 2013. *Materials Availability: Potential constraints to the future low-carbon economy. Working Paper II: Batteries, Magnets and Materials. UK Energy Research Centre, UKERC/WP/TPA/2013/003.*
- [15] Stassin F. 2017. *Establishing the industrial leadership of Europe in advanced materials for the Energy Union. Global Energy 2025, 26 February 2017, San Diego (USA). The path towards the decarbonisation of the EU Energy sector. EUR 25994; 2013. doi: 10.2790/46339.*
- [16] Allen K. 2017. *New technologies harness solar power. Materials World, Vol. 25, nº 5, p. 14-15.* [www.materialsworld.com](http://www.materialsworld.com)

#### Divisão de Estudos, Investigação e Renováveis

Tel.: +351 217 922 700 / 217 922 800  
Fax: +351 217 939 540  
[energia@dgeg.pt](mailto:energia@dgeg.pt) · [www.dgeg.gov.pt](http://www.dgeg.gov.pt)